

ELECTRICAL ENERGY OF IRON-AIR BATTERY WITH CARBON CATHODES USING SEA WATER ELECTROLYTE

Benedictus Mardwianta

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl. Janti Blok-R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Email: aries2144@yahoo.com

Abstract

Iron is chosen for the manufacture of air batteries because it is cheap, widely available in nature. One solution currently being developed is the creation of air batteries. This study aims to determine the effect of electrolyte of seawater and the temperature of air that is in direct contact with carbon cathodes and iron anodes of air batteries as a source of electrical energy. The method used in the voltaic cell is an electrolyte, anode and cathode. They are anode and cathode that causes a reduction and oxidation reaction, as well as an electrolyte as a conduit to produce electrical energy from chemical reactions. The higher the temperature of the air in contact with the battery will reduce the battery's electrical power. The decreasing air density will reduce the amount of air mass, so that the air mass in direct contact with the electrode will decrease.

Keywords: battery, electrode, sea water, power

1. Pendahuluan

Baterai dari besi-udara menjanjikan kepadatan energi yang lebih tinggi daripada baterai lithium-ion masa kini. Bahan utama adalah besi merupakan bahan yang melimpah dan murah. Para ilmuwan dari Forschungszentrum Jülich sedang mengejar penelitian ke dalam konsep ini, pertama kali dilaporkan pada tahun 1970-an. Bersama dengan *Oak Ridge National Laboratory (ORNL)* di AS, mereka telah mengamati pada tingkat nanometer bagaimana endapan terbentuk di elektroda besi selama operasi[1]. Pemahaman yang lebih dalam tentang reaksi pengisian dan pengosongan dipandang sebagai kunci untuk pengembangan lebih lanjut dari jenis baterai yang dapat diisi ulang ini ke kematangan pasar. Hasilnya dipublikasikan di *Nano Energy*. Untuk alasan termasuk kesulitan teknis yang tak dapat diatasi, penelitian baterai logam-udara ditinggalkan pada 1980-an. Beberapa tahun terakhir telah melihat peningkatan pesat dalam minat penelitian. Baterai besi-udara menarik energi mereka dari reaksi besi dengan oksigen. Dalam proses ini, besi mengoksidasi hampir persis seperti yang terjadi selama proses pengamatan. Oksigen yang diperlukan untuk reaksi dapat ditarik dari udara sekitarnya sehingga tidak perlu disimpan dalam baterai. Efisiensi bahan ini adalah alasan untuk kepadatan energi tinggi yang dicapai oleh baterai logam-udara. Baterai-baterai besi-udara diprediksi memiliki kepadatan energi teoritis lebih dari 1.200 Wh/kg. Sebagai perbandingan, baterai lithium-ion saat ini sekitar 600 Wh/kg jika berat sel casing diperhitungkan. Baterai litium-udara, yang secara teknis lebih sulit diwujudkan dan dapat memiliki kepadatan energi hingga 11.400 Wh/kg. Oleh karena itu baterai udara-besi sangat menarik untuk banyak aplikasi seluler di mana persyaratan ruang memainkan peran besar. Wawasan yang diperoleh oleh para peneliti Jülich menciptakan dasar baru untuk meningkatkan sifat-sifat baterai dengan cara yang ditargetkan. Menggunakan mikroskop gaya

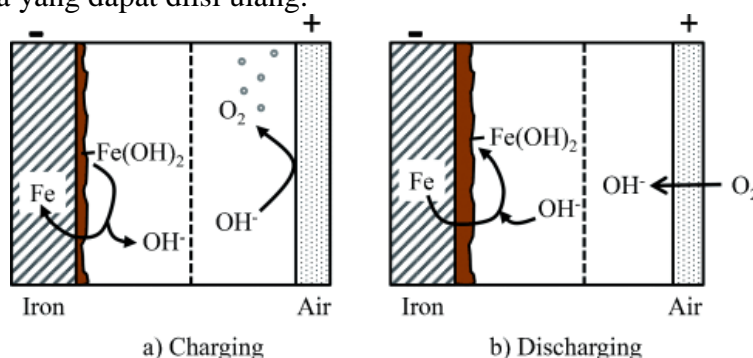
atom elektrokimia in situ di Pusat Ilmu Bahan Nanofase di *Oak Ridge National Laboratory*, mereka mampu mengamati bagaimana endapan partikel besi hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) terbentuk di elektroda besi dalam kondisi yang sama dengan yang lazim selama pengisian dan pemakaian. Dalam baterai timbal, elektroda negatif adalah logam timbal (Pb) dan elektroda positifnya adalah timbal yang dilapisi timbal oksida (PbO_2), dan kedua elektroda dicelupkan dalam larutan elektrolit asam sulfat (H_2SO_4). Penggunaan material timbal dapat mencemari lingkungan. Oleh sebab itu diperlukan bahan lain yang lebih ramah lingkungan. Pada baterai kering terdapat elektrolit yang berupa asam kuat seperti asam sulfat. Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel tetapi sel tunggal juga umumnya disebut baterai. Baterai primer hanya digunakan sekali dan dibuang; material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan. Penggunaannya umumnya adalah baterai alkaline digunakan untuk senter dan berbagai alat portabel lainnya. Baterai sekunder (Baterai dapat diisi ulang) dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali; komposisi awal elektroda dapat dikembalikan dengan arus berkebalikan. Contoh adalah baterai timbal-asam pada kendaraan dan baterai ion litium pada elektronik portabel. Baterai yang dapat diisi ulang saat ini (Li-ion, Pb-acid, Ni-MH, dll.) karena tidak kuat, tidak layak secara ekonomi dan sumber daya yang terbatas. Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh elektrolit air laut sebagai sumber energi listrik alternatif pada baterai udara dan mengetahui pengaruh udara yang kontak langsung dengan karbon aktif dan anoda besi dari baterai udara sebagai sumber energi listrik.

Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel [2]. Sel STAIR (2012) berupa komponen baru tersebut terbuat dari karbon berpori yang jauh lebih murah daripada lithium oksida kobalt pada baterai biasa. Proyek penelitian empat tahun ini bahwa interaksi komponen karbon dengan udara bisa berulang, menciptakan *sikluscharge* dan *discharge*. Hasil ini telah melipat-tigakan kapasitas penyimpanan pada sel STAIR. Proyek ini difokuskan untuk memahami lebih mendalam tentang bagaimana reaksi kimia pada baterai bekerja dan menyelidiki cara untuk meningkatkannya. Tim penelitian juga berusaha untuk menghasilkan sel protipe STAIR yang cocok untuk aplikasi kecil seperti ponsel.

Arus versus kurva potensial dari siklus charge-discharge dari elektroda *bifunctional Co-Ni* oksida pada karbon dalam 12 mol dan 3 KOH elektrolit pada 27°C . *Overpotential* yang dibutuhkan untuk reduksi dan evolusi oksigen pada kepadatan arus $\pm 20\text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$. Penjelasan rinci tentang komponen dan proses pembuatan elektroda pernapasan udara yang digunakan dalam prototipe baterai sel-udara besi yang dikembangkan pada tahun 1970an dapat ditemukan ada deskripsi penggunaan aliran medan untuk mendistribusikan udara ke dalam elektroda pernapasan udara berpori. Dalam prototipe campuran oksigen dan gas nitrogen maka untuk menghindari karbonasi elektrolit dapat dimasukkan ke dalam sel ke

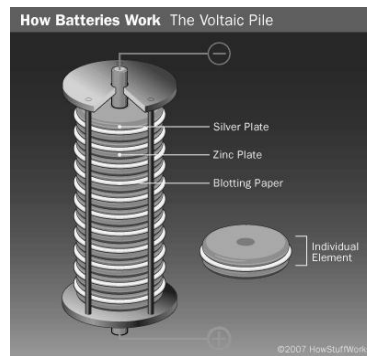
dalam ruang akrilik yang dipasang di atas setiap elektroda udara yang dipasang dalam bingkai polimer akrilonitril-butadiena-stirena (ABS)[3]. Telah dilakukan penelitian tentang penganalisaan tingkat intrusi air laut pada air bawah tanah melalui sumur bor dan sumur gali di Kecamatan Dumai Timur Kota Dumai. Untuk mengetahui tingkat intrusi air laut pada sumur bor dan sumur gali dilakukan dengan pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) air sumur bor dan sumur gali. Pengambilan sampel air laut, air sumur bor, dan sumur gali dimulai dari titik acuan dari garis pantai menuju titik air laut dan ke arah daratan yaitu pemukiman. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor jarak sumur bor dan gali dari garis pantai, kedalaman sumur terhadap intrusi air laut pada air sumur bor dan gali, kandungan air sumur bor dan gali (TDS dan Klorida), dan suhu air sumur bor dan gali. Dari analisis pengamatan dapat dilihat pada sumur bor nilai antara jarak dan kedalaman terhadap DHL berdasarkan perhitungan Statistik dengan metode analisa regresi linear berganda [4]. Besi adalah logam yang menarik untuk baterai yang dapat diisi ulang karena biayanya yang rendah, kemudahan oksidasi dan beberapa oksidasi, bersama-sama dengan kemampuan untuk elektrodposisi dari elektrolit berair. Karakteristik penyimpanan energi dari baterai oksida udara-besi padat yang baru dikembangkan. Investigasi kinerja baterai di bawah berbagai kepadatan saat ini dan jangka waktu siklus menunjukkan bahwa pemanfaatan besi memainkan peran yang menentukan dalam kapasitas penyimpanan dan efisiensi *round-trip*. Penelitian lebih lanjut tentang siklus hidup baterai mengungkapkan mekanisme degradasi siklus muatan yang unik yang dapat ditafsirkan oleh transportasi fase uap gabungan dan model kondensasi elektrokimia. Secara keseluruhan, kapasitas energi dari baterai penyimpanan oksida besi-udara padat harus seimbang dengan efisiensi pada pemanfaatan besi.[5]. Efisiensi redoks besi telah ditingkatkan dengan meningkatkan distribusi besi pada permukaan karbon dengan bahan karbon yang dimuat Fe_2O_3 . Bahan karbon Fe_2O_3 -load disiapkan dengan memuat Fe_2O_3 pada karbon dengan metode kimia. $Fe(NO_3)_3$ diresapi pada karbon dengan rasio berat zat besi-ke-karbon yang berbeda dalam larutan berair, dan campuran dikeringkan dan kemudian dikalsinasi selama 1 jam pada $400^\circ C$ dalam aliran Ar. Pengaruh berbagai karbon pada sifat fisik dan elektrokimia elektroda karbon Fe_2O_3 diselidiki dengan penggunaan difraksi sinar-X (XRD), transmisi elektron mikroskop (TEM), *scanning electron microscopy* (SEM) bersama dengan energi sinar-X *-dispersive spectroscopy* (EDS), voltametri siklik (CV) dan kinerja bersepeda galvanostatik. Mikroskop elektron transmisi digabungkan dengan pengukuran difraksi sinar-X mengungkapkan bahwa partikel Fe_2O_3 kecil didistribusikan pada permukaan karbon[6]. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses yang terjadi yaitu Primary battery yaitu baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan. Kemudian secondary battery yaitu baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, proses kimia yang terjadi di dalam baterai ada reversibel, dan baha aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel. Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya di pasaran, antara lain baterai ion litium (Li-ion atau LIB). Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang. Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Hampir sama dengan baterai Li- Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini

baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada charging dan discharging rate. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari. Seandainya para ilmuwan dapat memecahkan masalah ini maka risiko keamanan pada batera jenis lithium akan sangat berkurang. Baterai *Lead Acid (Accu)* atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai *lead-acid*, yaitu *Starting Battery dan Deep Cycle Battery*. Besi adalah logam yang menarik untuk baterai yang dapat diisi ulang karena biayanya yang rendah, kemudahan oksidasi dan beberapa oksidasi, bersama-sama dengan kemampuan untuk elektrodposisi dari elektrolit berair. Sel besi-udara dapat dianggap sebagai pengganti untuk sel alkali oksida-nikel oksida di mana elektroda nikel telah diganti oleh elektroda pernapasan-udara bifunctional. Sel skematik pada Gambar 1 menunjukkan proses utama yang terjadi di bawah kondisi discharge dan pengisian (yang dianggap dalam bagian "Elektroda dan reaksi sel"). Potensi rangkaian terbuka dari baterai besi-udara adalah 1,28 V, sedikit lebih rendah dari sel oksida besi-nikel 1,41 V, tetapi mengganti nikel dengan elektroda pernapasan udara dapat meningkatkan densitas energi hingga 100 % . Elektroda besi negatif yang digabungkan dengan reduksi dan evolusi oksigen pada elektroda positif terlapis katalis membentuk bentuk baterai besi-udara yang dapat diisi ulang.



Gambar 1. Unit sel besi-udara dengan membran anion dalam elektrolit alkali
(Sumber <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cplu.201402238>)

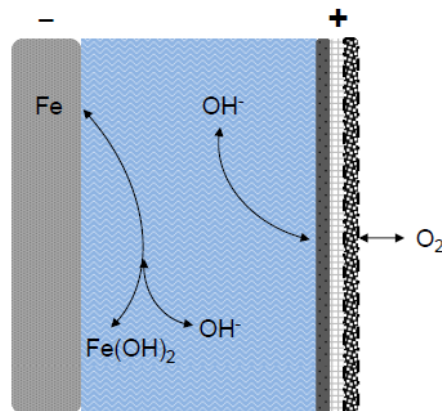
Baterai merupakan alat elektronika yang sangat bermanfaat dalam menyimpan energi. Tanpa baterai mungkin saat ini kita harus menghubungkan kabel ke smartphone disaat ingin memakainya. Beruntunglah teknologi saat ini memungkinkan baterai selalu bisa diisi ulang atau dikenal *rechargeable battery* ketika low batteries (Low-Bat) atau mati. Baterai berbeda dengan kapasitor namun sama-sama berfungsi sebagai penyimpan energi. Kapasitor menyimpan energi lebih banyak dibandingkan dengan baterai yang biasa kita gunakan. Baterai berhubungan dengan sumber arus searah atau DC, sedangkan kapasitor dikaitkan dengan arus bolak balik atau AC.



Gambar 2. Baterai Volta

(Sumber : Dibner, B. (1964). *Alessandro Volta and the electric battery*. Franklin Watts)

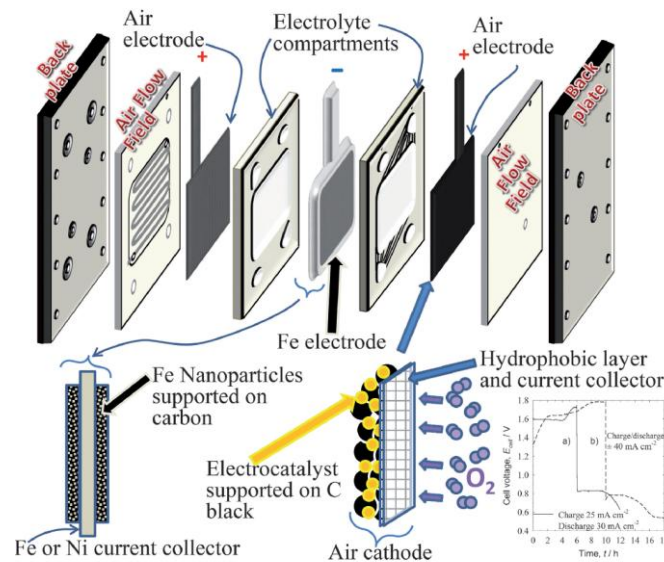
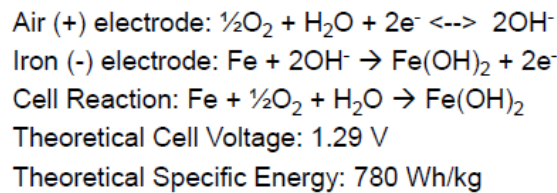
Baterai pertama dengan menumpuk bolak lapisan seng, air garam, karton atau kain basa, dan perak. Pengaturan ini, disebut tumpukan volta, bukan perangkat pertama untuk menciptakan listrik, tapi itu yang pertama untuk menghasilkan listrik yang stabil, dan hingga saat ini menjadi patokan baterai modern. Namun, ada beberapa kelemahan dari penemuan Volta. Ketinggian di mana lapisan bisa ditumpuk terbatas karena berat tumpukan akan memeras air garam keluar dari karton atau kain. Logam cakram juga cenderung menimbulkan korosi yang cepat, tentu saja memperpendek umur baterai. Meskipun masih terdapat kekurangan, unit SI dari gaya gerak listrik yang sekarang disebut volt adalah untuk menghormati prestasi Volta [7]. Terobosan penemuan baterai berikutnya dilanjutkan oleh kimiawan asal Inggris John Frederic Daniell. Ia adalah salah satu dari polymaths otodidak paling terkenal di dunia dan terkenal sebagai penemu Sel Daniell. Penemuan Sel Daniell adalah peningkatan besar atas baterai tumpukan volta pada saat itu. Teknologi yang digunakan pada masa awal pengembangan baterai mengambil arah baru setelah penemuan Sel Daniell. Pada tahun 1860-an, ilmuwan lain menemukan sel gravitasi yang sebenarnya merupakan varian dari sel Daniell. Sel gravitasi ini, yang juga dikenal sebagai sel crowfoot, menjadi pilihan populer untuk telegraf listrik. Beliau banyak berkontribusi dalam penelitian meteorologi dan klimatologi. Dia adalah profesor yang sangat populer di King's College di London dan terkenal karena kebiasaan observasi dan eksperimennya yang teliti[8].



Gambar 3. Baterai udara-besi

(Sumber L. Ölgefors, L. Carlsson, J.Power Sources)

Untuk reaksi kimia baterai udara besi seperti berikut:



Gambar 4. Komponen baterai udara-besi
 (Sumber L. Öljefors, L. Carlsson, J. Power Sources)

Berbagai zat digunakan dalam baterai lithium, tetapi kombinasi umum adalah kobalt oksida lithium sebagai katoda dan karbon sebagai anoda. Timbal-asam baterai (Lead-acid battery) (isi ulang) adalah baterai kimia yang digunakan dalam baterai mobil khusus. Elektroda biasanya terbuat dari timbal dioksida dan logam timbal, sedangkan elektrolit adalah larutan asam sulfat.

2. Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian sebagai berikut, yang pertama adalah menyiapkan bahan berupa karbon sebagai katoda, air laut sebagai cairan elektrolit dan besi sebagai anoda. Kemudian membuat enam buah baterai dengan berbagai variasi antara lain, baterai I adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 50 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai II adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 75 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai III adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 100 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai IV adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 125 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai V adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram dan massa elektrolit air laut 125 gram, temperatur udara 27°C dan kecepatan udara 3 m/s. Terakhir yaitu baterai VI adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram dan massa elektrolit air laut 125 gram, temperatur udara 43°C dan kecepatan udara 3 m/s. Dalam setiap variasi baterai diambil sepuluh data kemudian data tersebut dirata-rata menghasilkan tegangan rata-rata dan arus rata-rata pada setiap baterai. Alat yang digunakan adalah gergaji yang digunakan untuk

memotong besi. Kabel tembaga yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada baterai ke lampu LED. Multimeter digital yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik dan lampu LED. Bahan yang digunakan adalah karbon yang digunakan sebagai katoda, air laut yang digunakan sebagai cairan elektrolit dan besi yang digunakan sebagai anoda.

3. Hasil dan Pembahasan

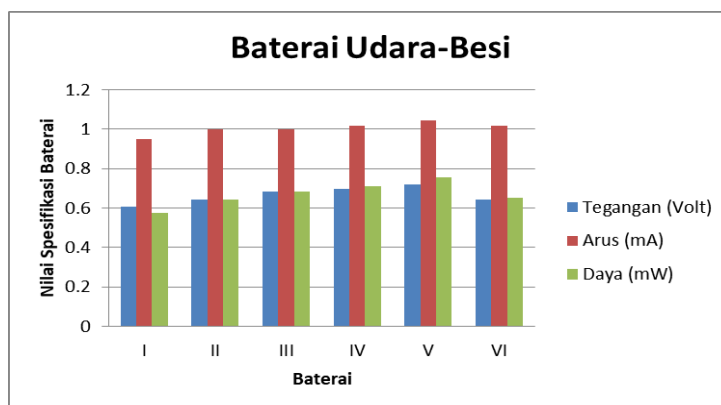
Pada pengujian salinitas air laut yang dilakukan di laboratorium Chem-Mix Pratama air laut yang digunakan adalah air laut dari pantai di Gunung Kidul Yogyakarta. Salah satu faktor yang mempengaruhi kadar salinitas adalah dengan penguapan, semakin tinggi penguapan air laut disuatu wilayah, maka semakin tinggi pula kadar salinitasnya. Salinitas dapat terjadi karena penguapan air yang mengurangi volume air sehingga konsentrasi garam-garam terlarut didalamnya meningkat. Fluktuasi salinitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu besar kecilnya penguapan air, pencampuran oleh air lain dimana berbeda salinitasnya dan adanya pengendapan.

Hasil Pengujian Tegangan dan Arus pada Baterai

Data hasil pengujian dengan elektroda besi dan karbon menggunakan metode sel elektrokimia dapat dilihat pada Tabel 1. Baterai I adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 50 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai II adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 75 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai III adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 100 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai IV adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram, massa elektrolit air laut 125 gram dan temperatur udara 27°C. Baterai V adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram dan massa elektrolit air laut 125 gram, temperatur udara 27°C dan kecepatan udara 3 m/s. Baterai VI adalah baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram dan massa elektrolit air laut 125 gram, temperatur udara 43°C dan kecepatan udara 3 m/s.

Tabel 1 Tegangan, arus dan daya baterai

Nilai Rata-rata			
Baterai	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Daya (mW)
I	0.607	0.951	0.576
II	0.644	0.999	0.642
III	0.683	1.002	0.684
IV	0.697	1.016	0.709
V	0.722	1.047	0.757
VI	0.643	1.016	0.654



Gambar 5 Tegangan, arus dan daya baterai

Pada penambahan massa cairan elektrolit air laut dari 50 gram menjadi 125 gram akan berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan oleh baterai yaitu dari tegangan 0,607 Volt. menjadi 0,697 Volt. Pada penambahan massa cairan elektrolit air laut dari 50 gram menjadi 125 gram juga akan berpengaruh pada arus yang dihasilkan oleh baterai yaitu dari arus 0,951 mA menjadi 1,016 mA. Selain itu penambahan massa cairan elektrolit air laut akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh baterai yaitu dari daya 0,576 mW menjadi 0,709 mW. Baterai udara sangat terpengaruh oleh kondisi udara yang kontak langsung dengan elektroda baterai. Baterai yang menggunakan massa katoda karbon 20 gram, massa anoda besi 300 gram dan massa elektrolit air laut 125 gram, temperatur udara 27°C dinaikkan menjadi 43°C dan kecepatan udara dibuat konstan pada 3 m/s menghasilkan tegangan dari 0,722 V menjadi 0,643 V. Selain itu kenaikan temperature udara juga berpengaruh pada arus yang dihasilkan dari 1,047 mA menjadi 1,016 mA. Daya yang dihasilkan baterai juga tergantung dari perubahan temperatur dari 0,757 mW menjadi 0,654 mW. Semakin tinggi temperatur udara yang bersentuhan dengan baterai maka akan menurunkan daya listrik baterai. Hal ini disebabkan oleh sifat udara pada atmosfer yaitu densitas udara akan menurun jika temperatur udara meningkat. Densitas udara yang semakin turun akan mengurangi jumlah massa udara, sehingga massa udara yang kontak langsung dengan elektroda semakin sedikit. Efek yang ditimbulkan pada kenaikan temperatur udara adalah menurunnya tegangan baterai, arus baterai dan daya baterai.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian maka disimpulkan bahwa pengaruh elektrolit air laut sebagai sumber energi listrik alternatif pada baterai udara yaitu semakin banyak massa elektrolit air laut maka akan memperbesar energy listrik dengan meningkatnya tegangan, arus dan daya baterai. Pengaruh udara yang kontak langsung dengan elektroda karbon dan anoda besi dari baterai udara sebagai sumber energi listrik yaitu semakin tinggi temperatur udara maka akan menurunkan densitas udara. Densitas udara yang rendah akan menurunkan massa udara sehingga akan menurunkan tegangan, arus dan daya baterai.

Ucapan Terimakasih

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas penelitian dengan baik tanpa suatu halangan yang berarti. Penyelesaian penelitian ini tentu tidaklah lepas dari bantuan, bimbingan, dukungan serta semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada Tuhan YME yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Ketua STTA yang telah membantu pendanaan penelitian. Kepala P3M STTA yang telah

memberikan dukungan dana penelitian. Kepala Departemen Teknik Mesin STTA yang telah membantu fasilitas di STTA. Seluruh dosen Teknik Mesin STTA yang luar biasa dan semua pihak yang terkait dalam pembuatan penelitian ini. Peneliti menyadari bahwa dalam penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu diharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak untuk menyempurnakannya. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita. Terima kasih.

Daftar Pustaka

- [1] Waser, R., Dittmann, R., Staikov, G., & Szot, K. (2009). Redox-based resistive switching memories—nanoionic mechanisms, prospects, and challenges. *Advanced materials*, 21(25-26), 2632-2663.
- [2] Riyanto. (2012). *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- [3] McKerracher, R. D., Ponce de Leon, C., Wills, R. G. A., Shah, A. A., & Walsh, F. C. (2015). A review of the iron–air secondary battery for energy storage. *ChemPlusChem*, 80(2), 323-335.
- [4] Budisantoso, Warih. (2014). *Studi Performance Batere Air Laut yang Menggunakan Elektroda Karbon Aktif untuk Menghasilkan Energi Listrik*. Program Studi Teknik Elektro. Universitas Tanjungpura. Pontianak
- [5] Zhao, X., Xu, N., Li, X., Gong, Y., & Huang, K. (2012). Energy storage characteristics of a new rechargeable solid oxide iron–air battery. *Rsc Advances*, 2(27), 10163-10166.
- [6] Hang, B. T., Watanabe, T., Eashira, M., Okada, S., Yamaki, J. I., Hata, S., & Mochida, I. (2005). The electrochemical properties of Fe₂O₃-loaded carbon electrodes for iron–air battery anodes. *Journal of power sources*, 150, 261-271.
- [7] Dibner, B. (1964). *Alessandro Volta and the electric battery*. Franklin Watts.
- [8] Sistrunk, T. O. (1952). John Frederic Daniell. *Journal of Chemical Education*, 29(1), 26.